

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2001-250815

(43)Date of publication of application : 14.09.2001

(51)Int.Cl. H01L 21/3065
B01J 19/08
C23C 16/509
C23F 4/00
H01L 21/31
H05H 1/46

(21)Application number : 2000-065769 (71)Applicant : HITACHI LTD

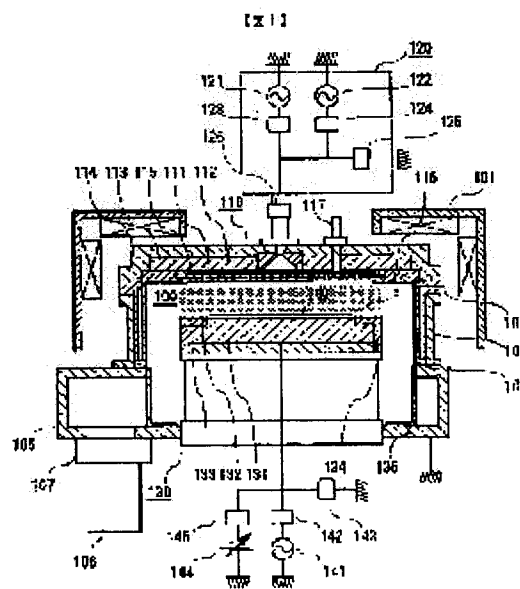
(22)Date of filing : 06.03.2000 (72)Inventor : MASUDA TOSHIO
TAKAHASHI NUSHITO
FUKUYAMA RYOJI
TAMURA SATOYUKI

(54) DEVICE AND METHOD FOR PLASMA TREATMENT

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To provide a plasma treatment device which can well secure the stability and reproducibility of a process.

SOLUTION: This plasma treatment device treats a wafer W by generating a plasma in a treatment chamber 100 through the interaction between an electromagnetic wave radiated from a UHF antenna 110 provided in the chamber 100 and a magnetic field formed by means of a magnetic field forming means 101 set up around the chamber 100. This device secures the stability and reproducibility of a process by controlling the temperature fluctuation of a silicon plate 115 within $\pm 25^{\circ}\text{C}$ in a temperature range of 100°C to 200°C , by making the plate 115 raise its temperature through self-heating caused by its internal resistance by adjusting the resistivity of the silicon of the plate 115 to 1–10 $\Omega\cdot\text{cm}$, particularly, to about 5 $\Omega\cdot\text{cm}$ by impressing a bias voltage V_{dc} of -10 V to -300 V the plate 115.



(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開2001-250815

(P2001-250815A)

(43) 公開日 平成13年9月14日 (2001.9.14)

(51) Int.Cl.⁷

識別記号

F I

テマコード* (参考)

H 0 1 L 21/3065

B 0 1 J 19/08

E 4 G 0 7 5

B 0 1 J 19/08

C 2 3 C 16/509

4 K 0 3 0

C 2 3 C 16/509

C 2 3 F 4/00

Z 4 K 0 5 7

C 2 3 F 4/00

H 0 1 L 21/31

C 5 F 0 0 4

H 0 1 L 21/31

H 0 5 H 1/46

B 5 F 0 4 5

審査請求 有 請求項の数 7 O L (全 12 頁) 最終頁に続く

(21) 出願番号

特願2000-65769 (P2000-65769)

(22) 出願日

平成12年3月6日 (2000.3.6)

(71) 出願人 000005108

株式会社日立製作所

東京都千代田区神田駿河台四丁目6番地

(72) 発明者 増田 俊夫

茨城県土浦市神立町502番地 株式会社日

立製作所機械研究所内

(72) 発明者 高橋 主人

山口県下松市大字東豊井794番地 株式会

社日立製作所笠戸事業所内

(74) 代理人 100074631

弁理士 高田 幸彦 (外1名)

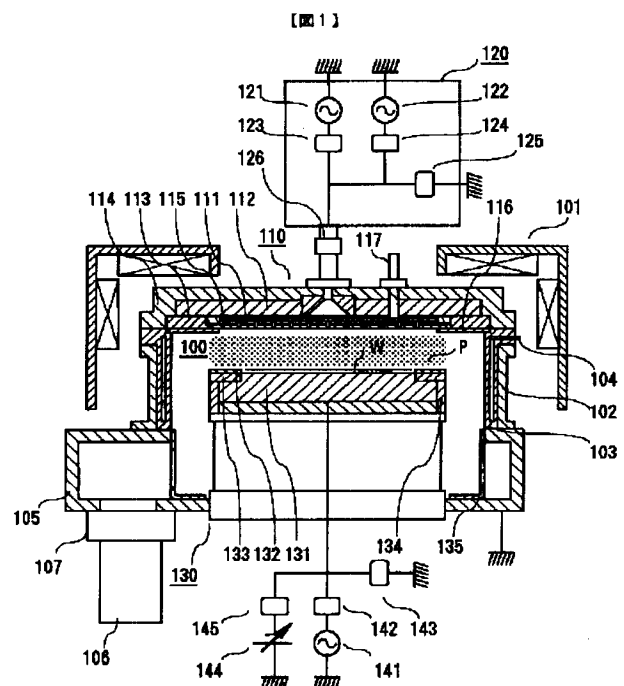
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 プラズマ処理装置及びプラズマ処理方法

(57) 【要約】

【課題】 安定性・再現性にすぐれたプラズマ処理装置を提供する。

【解決手段】 処理室100内に設けられたUHF帯アンテナ110から放射される電磁波と、処理室100の周囲に設置された磁場形成手段101で形成される磁場との相互作用により、処理室内部にプラズマを発生してウエハWを処理するプラズマ処理装置において、ウエハに対向してアンテナに設置されたシリコン製のプレート115に対して、 $V_{dc} = -10\text{ V} \sim -300\text{ V}$ のバイアスを印加し、シリコンの抵抗率を $1\text{ }\Omega\cdot\text{cm}$ 以上 $10\text{ }\Omega\cdot\text{cm}$ 以下、特に $5\text{ }\Omega\cdot\text{cm}$ 程度として内部抵抗による自己発熱で昇温させることで、プレート115の温度を 100°C 以上 200°C 以下の範囲で $\pm 2.5^{\circ}\text{C}$ 以内の変動として、プロセスの安定性・再現性を確保する。



【特許請求の範囲】

【請求項1】真空処理室と、該真空処理室にガスを供給する処理ガス供給手段と、該真空処理室内で処理される試料を保持する電極と、前記試料に対向して該真空処理室に設置されるプラズマ発生装置と、該真空処理室を減圧する真空排気系とを有するプラズマ処理装置において、

前記プラズマ発生装置は処理室内側に設置されたシリコン製のプレートに有し、該シリコン製のプレートに対して $V_{dc} = -5.0V$ 以上 $-3.0V$ 以下のバイアス電圧を印加し、かつ、前記プレートの表面温度を $100^{\circ}C$ 以上 $200^{\circ}C$ 以下の範囲とすることを特徴とするプラズマ処理装置。

【請求項2】請求項1に記載のプラズマ処理装置において、前記シリコン製のプレートの表面温度の変動を $\pm 2.5^{\circ}C$ 以内とすることを特徴とするプラズマ処理装置。

【請求項3】請求項1ないし2のいずれかに記載のプラズマ処理装置において、前記プラズマ発生装置が $300MHz$ から $1GHz$ の有磁場または無磁場UHF帯電磁波放射放電方式であることを特徴とするプラズマ処理装置。

【請求項4】請求項1ないし3のいずれかに記載のプラズマ処理装置において、前記シリコン製のプレートの抵抗率を $1\Omega \cdot cm$ 以上 $20\Omega \cdot cm$ 以下の範囲、望ましくは $10\Omega \cdot cm$ 以下、さらに好ましくは $5\Omega \cdot cm$ 程度とし、かつ前記シリコン製のプレートの厚みが $5mm$ 以上 $20mm$ 以下、望ましくは $10mm$ 以下とすることを特徴とするプラズマ処理装置。

【請求項5】請求項1ないし4のいずれかに記載のプラズマ処理装置において、導電体と誘電体を含み前記真空容器の壁の一部を構成するアンテナを有し、該アンテナは、前記導電体のプラズマに接する側の面に前記シリコン製のプレートが設置され、該導電体は内部を循環する熱媒体により温度が所定の値に維持される温度制御手段を有することを特徴とするプラズマ処理装置。

【請求項6】真空処理室と、該真空処理室にガスを供給する処理ガス供給手段と、該真空処理室内で処理される試料を保持する電極と、前記試料に対向して該真空処理室に設置されるプラズマ発生装置と、該真空処理室を減圧する真空排気系とを有するプラズマ処理装置を用いて試料を処理するプラズマ処理方法において、

前記シリコン製のプレートに対して $V_{dc} = -5.0V$ 以上 $-3.0V$ 以下のバイアス電圧を印加し、かつ、前記プレートの表面温度を $100^{\circ}C$ 以上 $200^{\circ}C$ 以下の範囲とし、前記プラズマ発生装置により発生するプラズマにより前記試料を処理することを特徴とするプラズマ処理方法。

【請求項7】真空処理室内に設けられたUHF帯アンテナから放射される電磁波と、前記真空処理室の周囲に設置された磁場形成手段で形成される磁場との相互作用によ

り、前記真空処理室内部にプラズマを発生して試料を処理するプラズマ処理方法において、

前記試料に対向して前記アンテナに設置されたシリコン製のプレートに対して、 $V_{dc} = -10V \sim -300V$ のバイアスを印加し、該シリコン製のプレートの抵抗率を $1\Omega \cdot cm$ 以上 $10\Omega \cdot cm$ 以下として内部抵抗による自己発熱で昇温させて前記プレートの温度を $100^{\circ}C$ 以上 $200^{\circ}C$ 以下の範囲で $\pm 2.5^{\circ}C$ 以内に制御し、前記プラズマにより前記試料を処理することを特徴とするプラズマ処理方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、プラズマ処理装置および処理方法に係り、特に半導体製造工程における微細なパターンを形成するのに好適なプラズマ処理装置およびプラズマ処理方法に関する。

【0002】

【従来の技術】半導体製造工程では、エッチング・成膜・アッシングなどの微細加工プロセスで、プラズマ処理装置が広く用いられている。プラズマ処理によるプロセスは、真空処理室（リアクタ）内部に導入されたプロセスガスをプラズマ発生手段によりプラズマ化し、半導体ウエハ表面で反応させて微細加工を行うとともに、揮発性の反応生成物を排気することにより、所定の処理を行うものである。

【0003】このプラズマ処理プロセスでは、リアクタ内壁やウエハの温度、あるいは内壁への反応生成物の堆積状態がプロセスに大きな影響を及ぼす。また、リアクタ内部に堆積した反応生成物が剥離すると、発塵の原因となって、素子特性の劣化や歩留まりの低下につながる。このため、プラズマ処理装置においては、プロセスを安定に保ちかつ異物の発生を抑制するために、リアクタ内部の温度や表面への反応生成物の堆積を制御することが重要である。

【0004】たとえば、特開平8-144072号公報には、シリコン酸化膜のドライエッチング工程における選択比を向上させる目的で、リアクタ内部の各部の温度を、エッチングステージの温度よりも $150^{\circ}C$ 以上高い $150^{\circ}C$ 以上 $300^{\circ}C$ 以下（望ましくは $200^{\circ}C$ 以上 $250^{\circ}C$ 以下）の高温度値に $\pm 5^{\circ}C$ 以内の精度で制御保持するドライエッチング装置が記載されている。このようにリアクタ内面各部の温度を高温に加熱制御することで、リアクタ内面へのプラズマ重合物の付着量が減少し、半導体ウエハ上へのプラズマ重合物の付着量が増加して、選択比が向上する。

【0005】また、特開平5-275385号公報には、平行平板型のプラズマ処理装置において、クランプリング（被処理体保持手段）、フォーカスリング（プラズマ集中手段）の少なくとも一方に、プラズマ処理により生じる反応生成物が付着しない温度に昇温・維持させ

10

20

30

40

50

る加熱手段を設けた装置が記載されている。加熱手段としては抵抗発熱体を用いている。加熱により反応生成物の付着が防止できるので、反応生成物の剥離や、被処理体表面へのパーティクルの付着が低減される。

【0006】

【発明が解決しようとする課題】しかしながら、上記のように真空処理室内壁面を加熱して200℃～250℃程度以上の高温に設定すると、エッチング特性が内壁表面の温度に非常に敏感となり、プロセスの再現性・信頼性が低下しやすいという問題がある。

【0007】たとえば、S.C. McNevin, et al., J. Vac. Sci. Technol. B 15(2) Mar/Apr 1997, p. 21, 'Chemical challenge of submicron oxide etching' には、誘導結合型のプラズマにおいて、側壁温度が200℃から170℃に変化すると酸化膜エッチレートが5%以上増加すること、したがって安定したプロセス特性を得るにはリアクタ内表面の温度をたとえば250℃±2℃という高い精度に保つ必要があることが示されている。

【0008】ところが、真空処理室内壁面は高密度なプラズマにさらされるわけであるから、壁面の温度をこのような高温領域で高精度に制御するのは容易ではない。温度制御には高精度なin-situ温度検出手段やヒータ・ランプなどの加熱手段を用いることになるが、温調の機構・手段がおおがかりになり、装置が複雑化してコストアップを招くことになる。また、200℃以上の高温領域では使用できる材料が制約を受ける問題もある。

【0009】この点、本願出願人は、同一出願人に係わる特願平10-147672号において、有磁場UHF帯電磁波放射放電方式のプラズマエッチング装置をひとつの実施例として、真空処理室内壁面の温度を100℃以下の温度範囲に設定することで、プロセスが温度変化に対して敏感とならず、±10℃程度の温調精度でも安定したプロセス再現性が得られることを開示している。

【0010】また、同一出願において、プラズマに接する構成部品（あるいは内壁面）について、その少なくとも一部分にバイアスを印加しかつ熱容量を小さくすることで、構成部品の温度を150℃以上250℃以下とすることで、構成部品の温度変動がプロセスに対して実質的に影響しないレベルに小さくできることを開示している。

【0011】さらに、本願出願人は、同一出願人に係わる特願平11-232132において、試料の外側部にもうけたシリコン製のフォーカスリングについて、デポが堆積しない強さ以上のバイアスを印加し、かつ表面温度を150℃以上とすることで、シリコン表面での反応の温度依存性が小さくなって安定化してプロセス再現性が確保できることを開示している。

【0012】しかしながら上記出願時点では、試料ウエハに対向している上部アンテナ（または上部電極または

天版）に設置されたプレートについては、プロセス安定性への影響が大きいものの、そのはたす役割については、バイアスを印加して反応生成物を堆積させないことでプロセスが安定化するとしたのみで、メカニズムを十分に理解したり必要な条件を定量化したりするには至らなかった。

【0013】そこで、かかる技術的立脚点に立ち、本発明者らは上記の課題を解決すべく鋭意研究を重ねた結果、試料ウエハに対向するプレートについて、プロセス安定性の確保に必要とされる温度範囲や精度あるいはバイアス印加による表面状態の制御についての要件を見出すに至り、本願発明に想到したものである。

【0014】本発明は、この本発明者らが見出した知見に基づいてなされたものであり、安定性・再現性にすぐれたプロセス特性が得られるプラズマ処理装置及び処理方法を提供することを目的とする。

【0015】

【課題を解決するための手段】本発明は、真空処理室と、処理室にガスを供給する処理ガス供給手段と、該真空処理室内で処理される試料を保持する電極と、該試料に対向して設置されるプラズマ発生装置と、該真空処理室を減圧する真空排気系とを有するプラズマ処理装置において、前記プラズマ発生装置の処理室側に設置されたシリコン製のプレートに対して $V_{dc} = -5.0V$ 以上 $-3.0V$ 以下のバイアス電圧を印加し、かつ、前記プレートの表面温度を100℃以上200℃以下の範囲とすることを特徴とする。

【0016】本発明の他の特徴は、前記プラズマ処理装置におけるシリコン製のプレートの表面温度の変動を±2.5℃以内とすることを特徴とする。

【0017】本発明の他の特徴は、前記プラズマ処理装置において、前記プラズマ発生装置が300 MHzから1 GHzの有磁場または無磁場UHF帯電磁波放射放電方式であって、前記シリコン製のプレートの抵抗率を $1 \Omega \cdot cm$ 以上 $10 \Omega \cdot cm$ 以下の範囲とし、前記シリコン製のプレートの厚みが5 mm以上20 mm以下望ましくは10 mm以下とした、ことを特徴とする。

【0018】本発明によれば、試料に対向して設置されたシリコン製のプレートに対する温調とバイアス印加により、シリコン表面における反応の温度依存性が小さくなり、前記プレートの表面温度の±2.5℃以内の範囲の変動に対してプラズマ状態およびプロセス特性が安定化するので、安定性・再現性にすぐれたプロセス特性をもつプラズマ処理装置およびプラズマ処理方法を実現することができる。

【0019】また、本発明の他の特徴によれば、UHF帯電磁波に対するシリコン製のプレート内部を伝播するUHF帯電磁波の表皮厚さとシリコンプレートの厚さがほぼ同等となってUHF帯電磁波による電流がプレート全体を流れるのでシリコン自体の内部抵抗による自己発熱によ

10

20

30

40

50

りプレートが効率よく加熱できるので、シリコン製のプレートの表面温度を温度変動に対する表面反応の温度依存性が小さくなる100℃以上200℃以下の範囲に設定することが可能になり、プラズマ状態およびプロセス特性が安定化するので、安定性・再現性にすぐれたプロセス特性をもつプラズマ処理装置およびプラズマ処理方法を実現することができる。

【0020】

【発明の実施の形態】以下、本発明の実施例について、図面に基いて説明する。図1は、本発明を、有磁場UHF帯電磁波放射放電方式のプラズマエッチング装置へ適用した実施例を示すもので、当該プラズマエッチング装置の縦断面の模式図である。

【0021】図1において、処理室100は、10⁻⁶ Torr程度の真空度を達成可能な真空容器であり、その上部に電磁波を放射するアンテナ110を、下部にはウエハなどの試料Wを載置する下部電極130を備えている。アンテナ110と下部電極130は、平行して対向する形で設置される。処理室100の周囲には、たとえば電磁コイルとヨークよりなる磁場形成手段101が設置されている。そして、アンテナ110から放射される電磁波と磁場形成手段101で形成される磁場との相互作用により、処理室内部に導入された処理ガスをプラズマ化して、プラズマPを発生させ、下部電極130に載置された試料Wを処理する。

【0022】一方、処理室100は、真空室105に接続された真空排気系106により真空排気され、圧力制御手段107により圧力が制御される。処理圧力は、0.1 Pa以上10 Pa以下、望ましくは0.5 Pa以上4 Pa以下の範囲に調整される。処理室100および真空室105はアース電位となっている。処理室100の側壁102には、温度制御機能をもつ側壁インナーユニット103が交換可能に設置される。側壁インナーユニット103は、熱媒体供給手段104から熱媒体が循環供給されることにより処理室内表面の温度が制御される。あるいはヒータ加熱機構と温度検知手段によるフィードバック制御により温度を制御してもよい。温度制御範囲は、0℃～100℃、望ましくは20℃～80℃で、±10℃以内の精度で制御される。処理室100の側壁102、側壁ユニット103は重金属を含まず熱伝導性のよいたとえばアルミニウムなどの非磁性金属材料として、表面に耐プラズマ性のアルマイトなどの表面処理を施すのが望ましい。

【0023】真空容器の上部に設置されるアンテナ110は、円板状導電体111、誘電体112、誘電体リング113からなり、真空容器の一部としてのハウジング114に保持される。また、円板状導電体111のプラズマに接する側の面にはプレート115が設置され、さらにその外側に外周リング116が設置される。円板状導電体111は、図示しない温度制御手段、すなわちそ

の内部を循環する熱媒体により温度が所定の値に維持され、円板状導電体111に接するプレート115の表面温度が制御される。試料のエッチング、成膜等の処理を行う処理ガスは、ガス供給手段117から所定の流量と混合比をもって供給され、円板状導電体111とプレート115に設けられた多数の孔を通して、所定の分布に制御されて、処理室100に供給される。

【0024】アンテナ110には、アンテナ電源120として、アンテナ電源121、アンテナバイアス電源122が、それぞれマッチング回路・フィルタ系123、124を介して接続され、またフィルタ125を通してアースに接続される。アンテナ電源121は、300 MHzから1 GHzのUHF帯周波数の電力を供給する。円板状導電体111の径をある特性長にしておくことで、たとえばTM₀₁モードのような固有の励振モードが形成される。本実施例では、アンテナ電源121の周波数を450 MHz、円板状導電体111の直径を330 mmとしている。

【0025】一方、アンテナバイアス電源122は、アンテナ110に、数10 kHzから数10 MHzの範囲の周波数のバイアス電力を印加することで、円板状導電体111に接するプレート115の表面での反応を制御する。特に、プレート115の材質を高純度のシリコンとすることで、たとえばCF系のガスをを用いた酸化膜エッチングにおいて、プレート115の表面でのFラジカルやCF_xラジカルの反応を制御してラジカルの組成比を調整することができる。本実施例では、アンテナバイアス電源122を、周波数13.56 MHz、電力は50 Wから600 Wとしている。このときプレート115にはセルフバイアスによりバイアス電圧V_{dc}が発生する。このV_{dc}の値は、プラズマ密度や圧力にもよるが、およそV_{dc} = -50 V ~ -300 Vである。本実施例においては、いわゆる平行平板型の容量結合方式のプラズマ装置とは異なり、プレート115に発生するセルフバイアスをプラズマ生成とは独立に制御できる点が特徴である。特にバイアス電圧をV_{dc} = -100 V程度以下の低い値とすることで、シリコンの消耗を抑制してランニングコストを低減したり、またシリコンのスパッタを抑制して試料W上へのエッチング残渣を低減することができる。

【0026】プレート115の下面とウエハWの距離（以下、ギャップと呼ぶ）は、30 mm以上150 mm以下、望ましくは50 mm以上120 mm以下とする。プレート115は広い面積をもって試料Wと対向しているので、処理プロセスにもっとも大きく影響する。このプレート115面へのバイアス印加と温度制御をある範囲とすることで表面反応を安定化させて再現性のよいプロセス特性を得ることが本発明の主眼点であり、これは後に詳しく説明することとする。

【0027】処理室100の下部には、アンテナ110

に対向して下部電極130が設けられている。下部電極130には、たとえば400 kHzから13.56 MHzの範囲のバイアス電力を供給するバイアス電源141がマッチング回路・フィルタ系142を介して接続されて試料Wに印加するバイアスを制御するとともに、フィルタ143を介してアースに接続される。本実施例では、バイアス電源141の周波数を800 kHzとしている。

【0028】下部電極130は、静電吸着装置131により、その上面、すなわち試料載置面にウエハなどの試料Wを載置保持する。静電吸着装置131は、その上面に静電吸着用誘電体層（以下、静電吸着膜と略称する）が形成されており、静電吸着用の直流電源144とフィルタ145から数100 V～数kVの直流電圧を印加することで、静電吸着力により、試料Wを下部電極130上に吸着・保持する。静電吸着膜としては、たとえば酸化アルミニウムや酸化アルミニウムにチタン酸化物を混合した誘電体を用いる。また、静電吸着装置131は、図示しない温度制御手段によりその表面が所定の温度に制御される。そして、静電吸着装置131の表面には、不活性ガス、たとえばHeガスが所定の流量と圧力に設定されて供給されており、試料Wとの間の熱伝達性を高めている。これにより、試料Wの表面温度を、たとえばおよそ100℃～110℃の範囲に精度よく制御することが可能となる。

【0029】静電吸着装置131の上面の試料Wの外側部には、高純度のシリコンで形成されたリング状の部材であるフォーカスリング132が設けられている。フォーカスリング132は絶縁体133により静電吸着装置131と絶縁される。電極の外側には電極外周カバー134を設けてある。絶縁体133、電極外周カバー134にはアルミナや石英を用いるのが好適である。本実施例においては、絶縁体133、電極外周カバー134にはアルミナを用いている。このような構造により、フォーカスリング132には、下部電極に印加されるバイアス電力を、絶縁体133を介して一部漏洩させて加えることができる。フォーカスリング132へのバイアス印加の強さは、絶縁体133の誘電率および厚みにより適度に調整できる。フォーカスリングは絶縁体133とは真空断熱されていて熱的にはほぼ非接触であるので、プラズマおよびバイアスにより加熱して効率よく昇温することが可能である。さらに、フォーカスリング132の材質をシリコンとすることで、フォーカスリング132の表面でのシリコンのスカベンジ作用により、FラジカルやCF_xラジカルの反応あるいはラジカル組成を調整することで、特にウエハ外周部でのエッチング均一性を制御することができる。

【0030】本実施例によるプラズマエッチング装置は以上のように構成されている。なお、上記実施例のうち、側壁部分の温調については、本願と同一の出願人に係わる特願平10-147672号で、また、フォーカ

スリングの構造と温調については、同一出願人に係わる特願平11-232132号でそれぞれ開示された内容を採用することができる。

【0031】次に、このプラズマエッチング装置を用いて、たとえばシリコン酸化膜のエッチングを行う場合の具体的なプロセスを、図1を用いて説明する。まず、処理の対象物であるウエハWは、図示していない試料搬入機構から処理室100に搬入された後、下部電極130の上に載置・吸着され、必要に応じて下部電極の高さが調整されて所定のギャップに設定される。ついで、処理室100内に試料Wのエッチング処理に必要なガス、たとえばC₄F₈とArとO₂が、ガス供給手段117からプレート115を通して、所定の流量と混合比をもって、処理室100に供給される。同時に、処理室100は、真空排気系106および圧力制御手段107により、所定の処理圧力に調整される。次に、アンテナ電源121からの450 MHzの電力供給により、アンテナ110から電磁波が放射される。そして、磁場形成手段101により処理室100の内部に形成される160 Gauss（450 MHzに対する電子サイクロトロン共鳴磁場強度）の概略水平な磁場との相互作用により、処理室100内にプラズマPが生成され、処理ガスが解離されてイオン・ラジカルが発生する。さらにアンテナバイアス電源122からのアンテナバイアス電力や下部電極のバイアス電源141からのバイアス電力より、プラズマ中のイオンやラジカルの組成比やエネルギーを制御して、ウエハWにエッチング処理を行う。そして、エッチング処理の終了にともない、電力・磁場および処理ガスの供給を停止してエッチングを終了する。

【0032】本実施例におけるプラズマ処理装置は上記のように構成されている。次に、本実施例の装置によるプレート115の温度制御の方法について具体的に説明し、ついでプレート115の温度設定に考察した後に、プレート115の温度を測定した結果を示していく。

【0033】まず、図2によりプレート115の温度制御の方法、すなわち冷却と加熱の機構を説明する。図2は、図1におけるアンテナ110の詳細断面図であり、プレート115の温調の構造を示す。図1で説明したように、アンテナ110は、円板状導電体111、誘電体112、誘電体リング113からなり、円板状導電体111のプラズマに接する側の面にはプレート115が設置される。プレート115は外周部において止めネジなどにより円板状導電体111に固定される。

【0034】まず、プレート115の冷却機構は次のとおりである。プレート115の裏面に設置された円板状導電体111は、熱媒体導入口118Aから熱媒体が導入されて内部を循環して導出口118Bから排出されることで、温度が所定の値に維持される。円板状導電体111は熱伝導のよいアルミが好適である。熱媒体の温度は常温付近のたとえば30℃程度が好適である。一方、

円板状導電体 111 にはガス供給手段 117 から処理ガスが供給され、内部で分散されて、プレート 115 に設けられた多数のガス孔を通して処理室 100 内に処理ガスが供給される。したがって、処理中にはプレート 115 と円板状導電体 111 の間には処理ガスが存在している。プレート 115 はこのガス伝熱により円板状導電体 111 から冷却されて温度が調整されることになる。さらに図 2 の実施例では、円板状導電体 111 のプレート 115 に接する側の面に空間 111A がもうけられており、ここに処理ガスを蓄積させることで、円板状導電体 111 とプレート 115 の間の熱伝達率を高くして、プレート 115 が効率よく冷却されるようにしている。なお、ガス孔の直径は円板状導電体 111 が $\phi 2 \text{ mm}$ 、プレート 115 が $\phi 0.5 \text{ mm}$ に設定している。

【0035】一方、プレート 115 の加熱機構は、プラズマ P からのプラズマ加熱、アンテナバイアスによるイオン加熱、さらにプレート 115 自体の自己発熱がある。プラズマ加熱は、いうまでもなくプラズマ P の中の高温の電子やイオンによりプレート 115 が加熱されるものである。

【0036】イオン加熱は、プレート 115 にひきこまれるイオンのエネルギーによる加熱である。アンテナ 110 にはアンテナバイアス電源 122 により高周波のアンテナバイアスが印加され、セルフバイアスによりバイアス電圧 V_{dc} が発生する。アンテナバイアスの電力は 50 W から 600 W 程度で、このときプレート 115 にはおよそ $V_{dc} = -50 \text{ V} \sim -300 \text{ V}$ のセルフバイアスがかかり、このエネルギーによりイオンが引き込まれてプレート 115 を加熱することになる。

【0037】また、プレート 115 の自己発熱はプレート 115 の材料であるシリコンのもつ内部抵抗による抵抗加熱である。アンテナ電源 121 から供給された UHF 帯周波数の電磁波（以下 UHF 波と略記する）は、誘電体 112 の内部を 121A のように伝播し、誘電体リング 113 から処理室 100 内に放射される（121B）とともに、プレート 115 を伝播してプレート 115 の表面からも処理室 100 内に放射される（121C）。

【0038】ここで、UHF 波がプレート 115 を伝播する状況はプレート 115 の材質であるシリコンの抵抗率によって大きく変化する。シリコンの抵抗率は B（ボロン）の添加量により調整可能であり、たとえば B 濃度を 10^{14} 程度とすると $5 \Omega \cdot \text{cm}$ 程度、B 濃度を $10^{18} \sim 10^{19}$ とすることで $0.01 \Omega \cdot \text{cm}$ 程度に設定することができる。

【0039】シリコンの抵抗率が $5 \Omega \cdot \text{cm}$ の場合、UHF 周波数 450 MHz の電磁波に対する表皮厚さ（スキンドープ）は約 7 mm となる。すなわち UHF 波による電流は表面から 7 mm 程度の深さの領域を伝播していく。一方、プレート 115 の板厚は板の曲げ剛性や強度などから、5 mm から 20 mm 程度が好適であり、プレート 115 の

材料や製作に要するコストを勘案すると板厚は 10 mm 程度以下が望ましい。これはたかだかスキンドープの 2 倍程度である。したがって、UHF 波による電流はプレートの内部全体を伝播していくことになる。このとき、シリコンプレート 115 の抵抗率が $5 \Omega \cdot \text{cm}$ と高いために、電流によるジュール熱が発生する。このような現象はシリコンの抵抗率が $1 \Omega \cdot \text{cm} \sim 10 \Omega \cdot \text{cm}$ の範囲であるときに発生する。すなわち、UHF 周波数 450 MHz に対してシリコンの抵抗率が $1 \Omega \cdot \text{cm} \sim 10 \Omega \cdot \text{cm}$ のときには、プレート内部を伝播する UHF 波の電流によってプレートは抵抗加熱により自己発熱して昇温することになる。

【0040】一方、シリコンの抵抗率がたとえば $0.01 \Omega \cdot \text{cm}$ と低い場合には、UHF 周波数 450 MHz に対する表皮厚さ（スキンドープ）はおよそ $0.1 \text{ mm} \sim 0.5 \text{ mm}$ 程度となる。この場合、UHF 波による電流はプレート 115 の最表面を伝播していくことになり、電流が最表面に集中することと、シリコンの抵抗率が低いことにより、プレート 115 には自己発熱はほとんど生じない。このように、プレート 115 の自己発熱はプレート 115 の材料であるシリコンの抵抗率により大きく発熱量が変化することになる。

【0041】ここまでにおいて、図 1 の実施例におけるシリコンプレート 115 の冷却と昇温の機構とを明らかにした。プレート 115 の温度は、これらの機構をバランスさせて所定の値に制御することになるわけである。そこで、次にプレート 115 の温度設定について考えていく。

【0042】定性的に考えれば、プレート 115 の温度が低いと、プレートの表面には反応生成物が堆積しやすくなり、表面状態が経時的に変化したり堆積した反応生成物が剥離して異物源となることが容易に推察できる。しかしそれだけでなく、特にプレート 115 の温度が 100°C 以下と低い場合には、シリコン表面での反応状態の温度変化への依存性が大きくなることを本発明者らは見出した。これを図 3 を用いて説明する。

【0043】図 3 は、シリコンプレートの表面反応として消耗レートをとって、シリコンプレートの消耗レートに対するバイアス印加量・表面温度の影響を評価した結果を示す。これは、図 1 の実施例の装置において、シリコンの消耗レートを定量化する目的で行った実験の結果である。実験は、放電 1 時間（放電 ON（3 分）／OFF

（1 分）を 20 サイクル繰り返した）の後にシリコンの削れ量を段差計で測定することで、シリコンの消耗レート（エッチングレート）を評価した。パラメータとしては、シリコンにかかるバイアス電圧（ V_{dc} ）およびシリコンの温度をとった。シリコンの温度は温調の温度やガス圧力などで設定し、表面にはりつけたサーモラベルで表面温度を測定した。

【0044】図 3 からわかるように、シリコンの温度が

50℃～70℃と低い場合はバイアス電圧の絶対値（V_{dc}の絶対値|V_{dc}|）が小さくなるにしたがってシリコンの消耗レートが減少するのに対して、シリコンの温度が100℃～105℃、あるいは125℃～130℃と高い場合は|V_{dc}|が小さくなくてもシリコンの消耗レートはほぼ一定である。これは定性的には、シリコン表面の温度が低いとシリコン表面へのデポレートが増加するので、|V_{dc}|の大小によりイオンのシリコン表面への到達量が影響をうけるためにシリコン消耗レートの|V_{dc}|への依存性が大きくなるのに対して、シリコンの温度が高いとデポレートが低下するため、|V_{dc}|が小さくともシリコン表面のエッチング反応が進行するものと理解される。

【0045】また、図3について別の見方をすると、|V_{dc}|が小さいとき、たとえばV_{dc}=-160Vでは、シリコンの消耗レートが50℃～70℃と100℃～105℃とで大きく異なっており、シリコンの消耗が表面温度の変化に大きく依存することを示している。この傾向は、|V_{dc}|が50V程度と小さくなるとさらに顕著になるものと考えられる。一方、|V_{dc}|が300V以上では、温度の変化の影響を受けにくくなっている。これは、V_{dc}が低いとシリコン表面のデポ膜がイオンにより除去されにくくデポレートの温度依存性の影響を受けやすいが、V_{dc}が高いとシリコン表面のデポ膜がイオンにより除去されやすいためにシリコン表面での反応の温度に対する依存性が小さくなるものと推察する。

【0046】この結果から、シリコンの消耗レートはバイアス印加量（|V_{dc}|）が大きく温度が高い条件でバイアス印加量や温度変化の影響を受けにくくなることがわかる。このことから、これらの両方の条件が満足されるウインドウでシリコンの表面における反応の安定化が可能になることが理解される。上記の結果をまとめると、V_{dc}=-50V～-300Vでは、シリコンプレートの表面温度を100℃以上とすることで、シリコンプレートの表面反応がバイアス印加量や表面温度の影響を受けにくくなることがわかる。

【0047】一方、プレート115の温度が高すぎると、プレート115の材質であるシリコンと円板状導電体111の材質であるアルミの熱膨張率の差により、プレート115と円板状導電体111の接触面においてすべりが生じたり、プレート115が割れたりする。この限界温度は、装置の設計裕度によっても異なるが、およそ200℃から250℃程度と考えられることから、円板状導電体111との温度差を考えると、プレート115の温度はおよそ150℃付近、最高でも200℃程度に設定するのが望ましい。

【0048】上記の検討により、プロセス安定性の観点から、本実施例においてシリコン製のプレート115に生じるセルフバイアスV_{dc}がV_{dc}=-50V～-300Vの場合には、プレート115の表面温度を100

℃以上200℃以下の範囲、望ましくは150℃付近に設定するのが好適である。本実施例においては、シリコンプレート115の抵抗率・厚み、円板状導電体111の冷媒温度と冷却効率、ガス孔の大きさなどの設計パラメータを最適化することでプレート115の温度を所定の値に調整している。

【0049】次に、実施例1の装置において、シリコン製のプレート115の温度を実測した結果を図4から図6を用いて説明する。

10 【0050】図4は、連続処理試験におけるプレート115および円板状導電体111の温度変動を示す。処理試験は、装置が予熱されていない状態からはじめて、放電3分ON／1分OFFを連続的に繰り返した。シリコンプレート115の抵抗率は5Ω・cmである。処理条件は処理条件A：

エッチングガス組成：Ar / C4F8 / O2 = 400 / 15 / 9 sccm、ガス圧力：2.0 Pa、ギャップ：70 mm

20 電力：アンテナ／アンテナバイアス／下部バイアス = 1000 W／400 W／600 W

とした。温度は、蛍光温度計をプレート115のプラズマ側の面に直接取り付け測定しており、内壁面の温度そのものを精度よく測定できることを確認している。連続処理試験開始とともに、プレート115の温度は急速に上昇し、放電開始後3分程度で100℃をこえて、ほぼ定常状態に達する。この間に、円板状導電体111の温度は、徐々に上昇し約60分後に70℃程度に上昇する。しかしながら、この間においてプレート115は入熱と出熱がバランスしており、プレート115の温度はほぼ110℃から120℃付近で一定に推移している。また、60分以降はアンテナバイアス電源の出力を400Wから200Wに低下させているが、このときにはプレート115の温度は約10℃程度下がっている。この温度差がイオン加熱の効果を示している。

30 【0051】次に、時間スケールをよりこまかくとって放電のON／OFFにともなう温度変動をみた結果を図5に示す。図5では定常状態におけるプレート115の温度を示している。放電ON（Discharge ON）によりプレート115の温度は110℃から3分後に120℃に上昇する。処理終了により放電OFF（Discharge OFF）とともに温度上昇はとまるが、その後も温度は下がることなくほぼ一定値を示し、次の処理のために処理ガスが導入される（Gas Introduction）と温度が低下する。これは処理終了とともに処理ガスの供給が停止するために、プレート115と円板状導電体111の間のガス伝熱がなくなるためである。このことからガス伝熱によるプレートの冷却の効果が大きいことがわかる。

40 【0052】次に、図6により、シリコンの抵抗率が異なる場合の結果を説明する。図6はシリコンプレート115の抵抗率が0.01Ω・cmと低い場合のプレート1

15の温度変化の測定結果である。処理条件は図4の抵抗率 $5\Omega\cdot\text{cm}$ の場合と同一であるが、図4の結果に比べて定常温度が約 70°C と低くなっている。これはシリコンの内部抵抗による自己発熱の有無の差によるものである。また、この 70°C という温度は、図4に示した円板状導電体111の飽和温度とほぼ同等である。このことは、本実施例の構造によりプラズマ加熱およびバイアス加熱による温度上昇に対して効率的な冷却が可能であることを示している。

【0053】しかしながら、定常温度で約 70°C の温度領域は図3で説明したように、バイアス電圧の変動によりシリコンの消耗レート、すなわち表面での反応状態が変化する領域である。また、バイアス電圧を低くした場合には表面に反応生成物が堆積しやすくなり、堆積膜の剥離による異物発生が生じる可能性がある。このように、この温度領域はプロセス再現性および異物抑制の観点から好ましい温度範囲ではない。一方、円板状導電体111は熱伝導のよいアルミで構成されており循環冷媒で温調しているので、その温度は図4で示したように定常状態でも 70°C 程度に維持される。したがってシリコン製のプレート115の温度を円板状導電体111よりも高く維持する必要がある。このためには、プレート115のシリコンの内部抵抗による自己発熱は、複雑な加熱機構を必要とせずにプレート115自体を効率よく加熱してプレート115の温度を所定の値に設定できる利点がある。

【0054】また、先に述べたように抵抗率が $0.01\Omega\cdot\text{cm}$ と低いと表皮厚さ（スキンドープ）が $0.1\text{mm}\sim 0.5\text{mm}$ 程度となるが、この場合UHF波による電流がプレート115の最表面に集中することになるために、シリコン表面でのミクロなエロージョンが発生することがある。本発明者らは検討の結果、エロージョンを発生させないためには、抵抗率はおよそ $1\Omega\cdot\text{cm}$ 以上であることが必要であることを見出している。

【0055】一方、プレート115の抵抗率が高すぎる場合には、UHF波がプレート115の内部を伝播する際の損失が大きくなり、プレート115の中心付近から放射されるUHF波の強度が低下するためにプラズマ分布が変化してしまう。この現象を起こさないためには、プレート115の抵抗率は $20\Omega\cdot\text{cm}$ が好適であり、 $10\Omega\cdot\text{cm}$ 以下が望ましい。

【0056】以上の理由により、UHF波の周波数 450MHz に対しては、プレート115のシリコンの抵抗率は $1\Omega\cdot\text{cm}$ 以上 $20\Omega\cdot\text{cm}$ 以下が好適であり、 $10\Omega\cdot\text{cm}$ 以下が望ましく、特に $5\Omega\cdot\text{cm}$ 程度が最適であることが結論される。

【0057】次に、プラズマ処理中のプレート115の温度変動がプラズマケミストリやエッチング特性に及ぼす影響から、プレート115の温調に要求される精度を考察する。

【0058】図2の実施例においては、円板状導電体111のプレート115に接する側の面にもうけられた空間111Aに蓄積された処理ガスにより、円板状導電体111とプレート115の間の熱伝達効率を向上させてプレート115の温調精度を確保している。この結果、図4、図5に示したように、放電ON/OFF時のプレート115の温度は 115°C 付近で $\pm 5^\circ\text{C}$ 程度の変動におさえられている。図3の結果からも容易に推測されるように、温度変動を $\pm 5^\circ\text{C}$ 程度とすれば、プレート115の表面反応は十分に安定させることができると考えられる。そして、バイアスが印加された条件では、温度変動がもっと大きくとも、具体的には $\pm 25^\circ\text{C}$ 程度であってもプロセスの安定化が可能であると推察できる。このことを実験的に確認した結果を図7から図9により説明する。

【0059】図7に実験に用いた第2の実施例の構造を示す。図2に示した第1の実施例とほぼ同様の構造であるが、プレート115の温度変動の抑制および冷却に効果が大きい円板状導電体111とプレート115の間の空間を設けない構造として、プレート115の温度をあげるとともに温度変動を許容している点が図2の実施例と異なる。プレート115の表面温度の設計値は、 150°C 付近で $\pm 25^\circ\text{C}$ 程度の変動を想定している。さらに、外周リング116を厚くして内側をテーパ形状とすることで、UHF波121Bの放射効率をあげてプラズマ生成効率を向上させるとともに、プラズマPの拡散を抑制して、プラズマPの密度を向上させている。

【0060】この場合のプレート115の温度変動を図8に示す。処理条件は、図3の説明で示したのと同等の条件を用いている。この場合、処理開始後60分の定常状態において、放電ONによりプレート115の温度は 125°C から 165°C へと上昇する。すなわち、放電のON/OFFにともなって、およそ $\pm 20^\circ\text{C}$ の温度変動が生じている。このような温度変動が生じているときのプラズマおよびプラズマ中のケミストリの状態の変化（あるいは安定性）をプラズマ発光および放電特性の時間変化により調べた結果を図9により説明する。

【0061】図9は、放電ONの1サイクルにおけるプラズマ発光および放電電圧Bias-Vpp、アンテナバイアスAnt.-Vdcの時間変化を示す。プラズマ発光は、CF(230.5nm)、CF2(280nm)、Ar(419.8nm)を示している。発光のCF、CF2はラジカルすなわちプラズマ中のケミストリの状態を、Arはイオン密度を、それぞれ示すと考えられる。また、放電電圧Bias-Vppはプラズマ密度を表している。アンテナバイアスAnt.-Vdcはシリコンプレート115表面でのFスカベンジ反応、すなわちプラズマケミストリに影響する。図9の結果でわかるように、発光CF、CF2、Arおよび放電電圧Bias-Vpp、アンテナバイアスAnt.-Vdcはいずれも放電ON中で安定しており、プレート115の温度変動の影響はまったくみられ

ない。このことから、 $\pm 25^{\circ}\text{C}$ 程度の温度変動に対しても、プラズマおよびケミストリの状態は安定していることが確認された。なお、放電OFF直前の変動は試料ウエハの静電吸着を解除する除電ステップによるもので、温度変動に起因するものではない。

【0062】さらに、図7の実施例の装置を用いてプロセスの安定性を確認した結果を図10に示す。図10は、フラットサンプルでのエッチング量およびエッチングレートのエッチング時間に対する依存性を測定した結果である。プレート115の温度変動がエッチング特性に影響している場合にはエッチング量の線形性やエッチングレートの変動として現れてくることになる。しかしながら、図10でわかるように、エッチング量はエッチング時間に比例して増加しており、エッチングレートもエッチング時間によらずに安定している。これらのことから、プレート115の $\pm 25^{\circ}\text{C}$ 程度の温度変動に対して、プラズマ状態だけでなく、エッチング特性も安定していることが確認できた。

【0063】上記は、1枚のウエハのエッチング処理中のプロセス安定性を示すものであるが、もちろん1ロット25枚のウエハを連続処理しても、また数ロットのウエハ処理を連続しても、同様に安定したプロセス再現性が得られることはいうまでもない。さらに本実施例のプラズマエッチング装置により、数1000枚のウエハ連続処理を酸化膜のホールやSAC（自己整合コンタクト）プロセスについて実施した結果、放電100時間以上にわたって、安定して再現性のよいエッチング特性を得られることを確認している。

【0064】なお、前記の各実施例は、いずれも有磁場UHF帯電磁波放射放電方式のプラズマ処理装置の場合であり、UHF波の周波数は450 MHzに固定して説明してきたが、もちろん周波数はこれに限定されるものではない。また、放射される電磁波はUHF帯の300 MHzから1 GHzの以外にも、たとえば2.45 GHzのマイクロ波や、あるいは数10 MHzから300 MHz程度までのVHF帯でもよい。また、磁場強度は、450 MHzに対する電子サイクロトロン共鳴磁場強度である160 Gaussの場合について説明したが、必ずしも共鳴磁場を用いる必要はなく、これよりも強い磁場やあるいは逆に数10 Gauss以下の弱い磁場を用いてもよい。さらには、磁場を用いない例えば無磁場放電でもよい。また、プロセスガスの吹き出しはプレート115から行う必要はなく、たとえば側壁からガスを導入してもよい。さらに、上記以外にも、たとえば磁場を用いたマグネトロン型のプラズマ処理装置や平行平板型の容量結合方式プラズマ処理装置、あるいは誘導結合型のプラズマ処理装置などに、前記の各実施例を適用できる。

【0065】また、前記の各実施例は、いずれも処理対象が半導体ウエハであり、これに対するエッチング処理

の場合であったが、本発明はこれに限らず、例えば処理対象が液晶基板の場合にも適用でき、また処理自体もエッチングに限らず、たとえばスパッタリングやCVD処理に対しても適用可能である。

【0066】

【発明の効果】本発明によれば、ウエハに対向してアンテナに設置されたシリコン製のプレート115に対して、 $V_{dc} = -10\text{ V} \sim -300\text{ V}$ のバイアスを印加し、温度を 100°C 以上 200°C 以下の範囲で $\pm 25^{\circ}\text{C}$ 以内の変動とすることで、プレート115における表面反応が温度変動によらずに安定するので、プロセス特性の安定性・再現性にすぐれたプラズマ処理装置およびプラズマ処理方法を提供することができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明を有磁場UHF帯電磁波放射放電方式のプラズマエッチング装置へ適用した、第1の実施例の縦断面模式図である。

【図2】第1の実施例によるアンテナ構造の実施例の縦断面模式図である。

【図3】第1の実施例におけるプレートの消耗レートを評価した結果を示す図である。

【図4】第1の実施例におけるプレートの温度変動を示す図である。

【図5】第1の実施例における定常状態でのプレートの温度変動を示す図である。

【図6】第1の実施例においてプレートの抵抗率が異なる場合の温度変動を示す図である。

【図7】本発明を有磁場UHF帯電磁波放射放電方式のプラズマエッチング装置へ適用した、第2の実施例の縦断面模式図である。

【図8】第2の実施例におけるプレートの温度変動を示す図である。

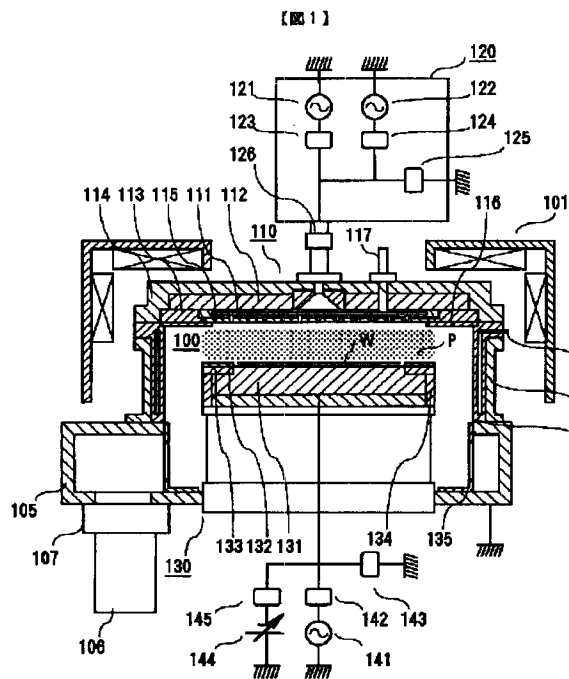
【図9】第2の実施例におけるプラズマ発光、放電電圧、アンテナバイアスの時間変化を示す図である。

【図10】第2の実施例においてエッチング量およびエッチングレートのエッチング時間に対する依存性を測定した結果を示す図である。

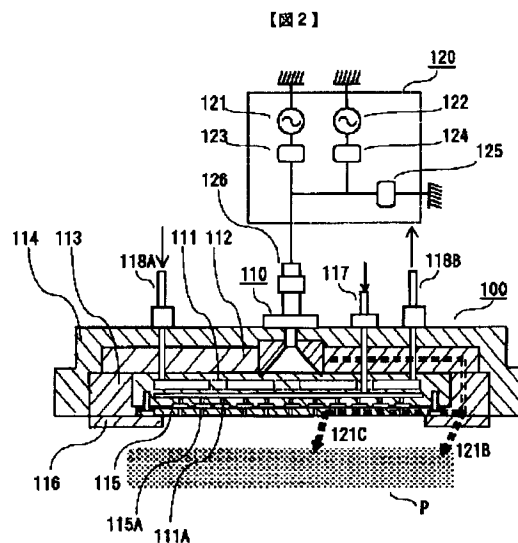
【符号の説明】

100…処理室、101…磁場形成手段、102…処理室側壁、103…側壁インナーユニット、104…ガス供給手段、105…真空室、106…真空排気系、110…アンテナ、110…円板状導電体、112…誘電体、113…誘電体リング、115…プレート、116…温度制御手段、117…ガス供給手段、121…アンテナ電源、122…アンテナバイアス電源、130…下部電極、131…静電吸着装置、132…フォーカスリング、133…絶縁体、141…バイアス電源、142…静電吸着装置、143…絶縁体

【図1】

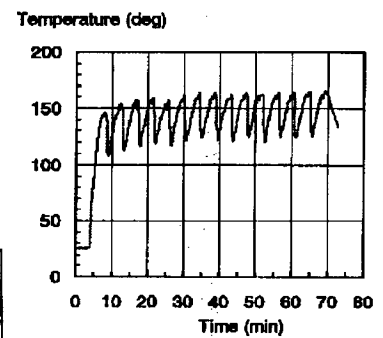


【図2】



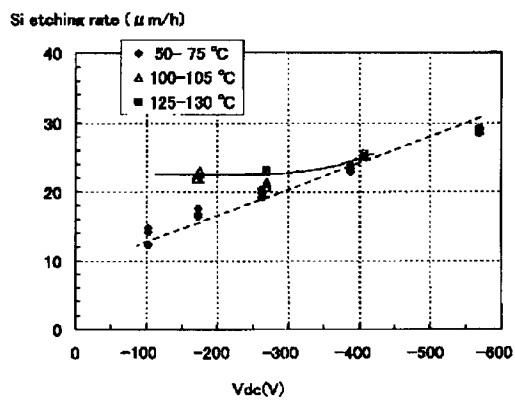
【図8】

【図8】



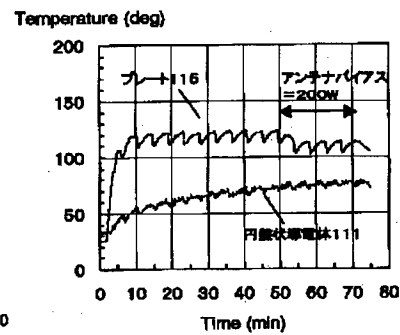
【図3】

【図3】



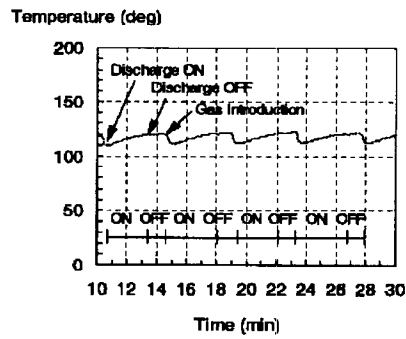
【図4】

【図4】



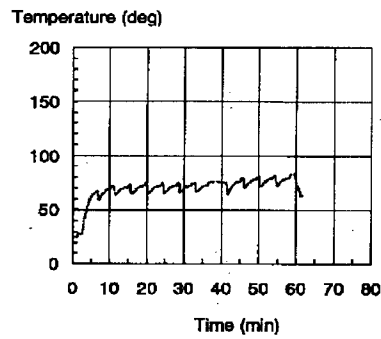
【図5】

【図5】



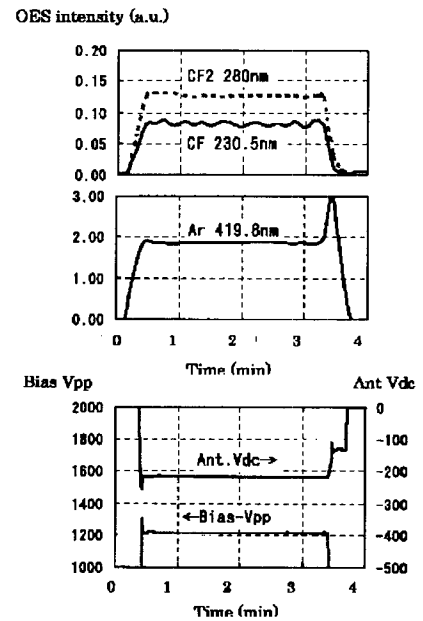
【図6】

【図6】



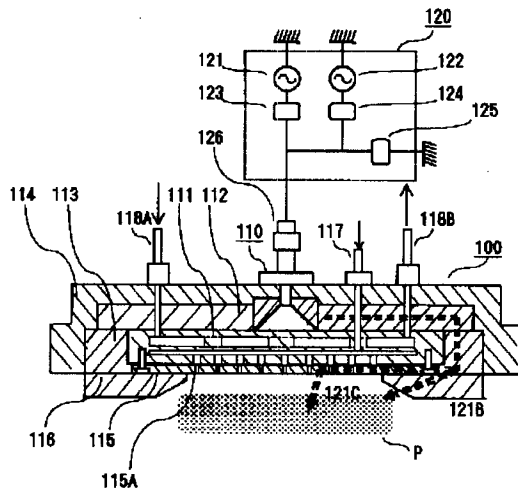
【図9】

【図9】



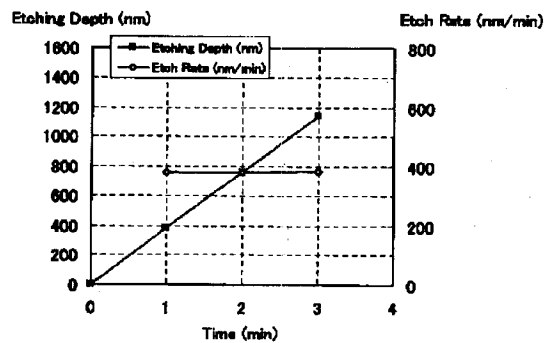
【図7】

【図7】



【図10】

【図10】



フロントページの続き

(51)Int.Cl. ⁷	識別記号	F I	テーマコード(参考)
H 0 5 H 1/46		H 0 5 H 1/46	L
		H 0 1 L 21/302	B
(72)発明者 福山 良次 茨城県土浦市神立町502番地 株式会社日 立製作所機械研究所内		F ターム(参考) 4G075 AA24 AA30 BA05 BA06 BC06	BD14 CA26 CA47
(72)発明者 田村 智行 山口県下松市大字東豊井794番地 株式会 社日立製作所笠戸事業所内		4K030 EA01 FA01 KA20 KA22 KA30	KA41
		4K057 DA01 DA20 DD05 DE06 DE14	DE20 DM08 DM24 DM29 DM39
		DM40 DN01	
		5F004 AA15 AA16 BA14 BA20 BB07	BB11 BB18 BB22 BB28 BB29
		BC08 DA00 DA23 DA26	
		5F045 AA08 AE13 AE15 AE17 BB03	BB15 DP03 EB03 EB06 EF05
		EH02 EH16 EH17 EH20 EK02	